

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 614 926**

51 Int. Cl.:

H02P 9/00 (2006.01)

H02J 3/38 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.10.2007 E 07118645 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.01.2017 EP 1914877**

54 Título: **Aparato de operación de máquinas eléctricas**

30 Prioridad:

20.10.2006 US 551430

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

02.06.2017

73 Titular/es:

**GENERAL ELECTRIC COMPANY (100.0%)
1 River Road
Schenectady, NY 12345, US**

72 Inventor/es:

**BARKER, SIDNEY A.;
KLODOWSKI, ANTHONY;
D'ATRE, JOHN DOUGLAS;
LARSEN, EINAR y
DROBNJAK, GORAN**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 614 926 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Aparato de operación de máquinas eléctricas

La presente invención se refiere por lo general a máquinas eléctricas y, más particularmente, a procedimientos y aparatos para la operación de máquinas eléctricas.

5 Por lo general, un generador de turbina eólica incluye una turbina que tiene un rotor que incluye un conjunto de cubo giratorio que tiene múltiples palas. Las palas transforman la energía del viento mecánica en un par de giro mecánico que acciona uno o más generadores a través del rotor. Los generadores generalmente, pero no siempre, se acoplan giratoriamente al rotor a través de una caja de engranajes. La caja de engranajes intensifica la velocidad de giro inherentemente baja del rotor para que el generador convierta eficazmente la energía mecánica de giro en energía eléctrica, que se alimenta a una red de suministro eléctrico a través de al menos una conexión eléctrica. También existen generadores de turbinas eólicas de accionamiento directo sin engranajes. El rotor, generador, caja de engranajes y otros componentes se montan normalmente dentro de un alojamiento, o góndola, que se sitúa en la parte superior de una base que puede ser una armadura o torre tubular. Un generador de turbina eólica convencional se conoce, por ejemplo, a partir del documento US 2005/0122083.

15 Algunas configuraciones del generador de turbina eólica de accionamiento directo sin engranajes incluyen generadores de inducción doblemente alimentados (DFIG). Tales configuraciones pueden incluir también convertidores de potencia que se utilizan para transmitir la energía de excitación del generador a un rotor del generador bobinado desde una de las conexiones a la conexión de red de servicios eléctricos. Bajo ciertas circunstancias, se pueden experimentar fluctuaciones de tensión de la red que pueden incluir transitorios de baja tensión con fluctuaciones de tensión que se aproximan a cero voltios. Por lo general, los convertidores de potencia y el generador son susceptibles a las fluctuaciones de tensión de la red. Por lo tanto, tales fluctuaciones de tensión de la red pueden ser perjudiciales para la operación continua del generador de turbina eólica.

La presente invención se define por las reivindicaciones adjuntas.

25 A continuación se describirán realizaciones de la presente invención, solamente a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

la Figura 1 es una vista esquemática de un generador de turbina eólica ejemplar;

la Figura 2 es una vista esquemática de un sistema eléctrico y de control ejemplar que se puede utilizar con el generador de turbina eólica que se muestra en la Figura 1;

30 la Figura 3 es una vista gráfica de la tensión de línea de la red en función del tiempo que se puede asociar con el sistema eléctrico y de control que se muestra en la Figura 2;

la Figura 4 es una vista en diagrama de bloques de un regulador de bucle de enganche de fase a modo (PLL) de ejemplo que se puede utilizar con el sistema eléctrico y de control que se muestra en la Figura 2;

la Figura 5 es una vista en diagrama de bloques de una máquina de estado de PLL ejemplar que se puede utilizar con el regulador de PLL que se muestra en la Figura 4; y

35 la Figura 6 es una vista tabular de una pluralidad de valores de constantes de ganancia y de límites de frecuencia ejemplares generados como una función del estado de PLL de acuerdo con lo determinado por la máquina de estado de PLL que muestra en la Figura 5.

40 La Figura 1 es una vista esquemática de un generador 100 de turbina eólica ejemplar. La turbina 100 eólica incluye una góndola 102 que aloja un generador (no mostrado en la Figura 1). La góndola 102 se monta en una torre 104 (una porción de la torre 104 se muestra en la Figura 1). La torre 104 puede tener cualquier altura que facilite la operación de la turbina 100 eólica como se describe en la presente memoria. La turbina 100 eólica incluye también un rotor 106 que incluye tres palas 108 de rotor fijadas a un cubo 110 giratorio. Como alternativa, la turbina 100 eólica incluye cualquier número de palas 108 que facilitan la operación de la turbina 100 eólica como se describe en la presente memoria. En la realización ejemplar, la turbina 100 eólica incluye una caja de engranajes (no mostrada en la Figura 1) giratoriamente acoplada al rotor 106 y un generador (no mostrado en la Figura 1).

45 La Figura 2 es una vista esquemática de un sistema 200 eléctrico y de control ejemplar que se puede utilizar con el generador 100 de turbina eólica (mostrado en la Figura 1). El rotor 106 incluye una pluralidad de palas 108 de rotor acopladas de forma giratoria al cubo 110. El rotor 106 incluye también un eje 112 de baja velocidad acoplado de forma giratoria al cubo 110. El eje de baja velocidad se acopla a una caja 114 de engranajes de intensificación. La caja 114 de engranajes se configura para intensificar la velocidad de giro del eje 112 de baja velocidad y transferir esa velocidad a un eje 116 de alta velocidad. En la realización ejemplar, la caja 114 de engranajes tiene una relación de intensificación de aproximadamente 70:1. Por ejemplo, el eje 112 de baja velocidad que gira a aproximadamente 20 revoluciones por minuto (20) acoplado a la caja 114 de engranajes con una relación de intensificación de aproximadamente 70:1 genera una velocidad del eje 116 de alta velocidad de aproximadamente 1400 rpm. Como

alternativa, la caja 114 de engranajes tiene cualquier relación de intensificación que facilite la operación de la turbina 100 eólica como se describe en la presente memoria. También, Como alternativa, la turbina 100 eólica incluye un generador de accionamiento directo en el que un rotor del generador (no mostrado en la Figura 1) se acopla de forma giratoria al rotor 106 sin ninguna caja de engranajes intermedia.

5 El eje 116 de alta velocidad se acopla de forma giratoria al generador 118. En la realización ejemplar, el generador 118 es un generador de inducción de rotor bobinado, 60 Hz, trifásico síncrono, doblemente alimentado (DFIG) que incluye un estator 120 del generador acoplado magnéticamente a un rotor 122 del generador. Como alternativa, el generador 118 es cualquier generador que facilite la operación de la turbina 100 eólica como se describe en la presente memoria.

10 El sistema 200 eléctrico y de control incluye un controlador 202. El controlador 202 incluye al menos un procesador y una memoria, al menos un canal de entrada del procesador, al menos un canal de salida del procesador, y puede incluir al menos un ordenador (ninguno se muestra en la Figura 2). Como se utiliza en la presente memoria, el término ordenador no se limita a solo los circuitos integrados referidos en la técnica como un ordenador, sino que se refiere ampliamente a un procesador, un microcontrolador, un microprocesador, un controlador lógico programable (PLC), un circuito integrado de aplicación específica y otros circuitos programables (no mostrados en la Figura 2), y estos términos se utilizan indistintamente en la presente memoria. En la realización ejemplar, la memoria puede incluir, pero se limita a, un medio legible por ordenador, tal como una memoria de acceso aleatorio (RAM) (ninguna se muestra en la Figura 2). Como alternativa, un disquete, un disco compacto - memoria de solo lectura (CD-ROM), un disco magneto-óptico (MOD), y/o un disco versátil digital (DVD) (ninguno se muestra en la Figura 2) se pueden utilizar también. Además, en la realización ejemplar, los canales de entrada adicionales (no mostrados en la Figura 2) pueden ser, pero no se limitan a, dispositivos periféricos informáticos asociados con una interfaz de operario, tales como un ratón y un teclado (no mostrados en la Figura 2). Como alternativa, se pueden utilizar también otros dispositivos periféricos informáticos que pueden incluir, por ejemplo, pero no se limitan a, un escáner (no mostrado en la Figura 2). Además, en la realización ejemplar, los canales de salida adicionales pueden incluir, pero no se limitan a, un monitor de interfaz de operario (no mostrado en la Figura 2).

Los procesadores 202 de control procesan la información transmitida desde una pluralidad de dispositivos eléctricos y electrónicos que pueden incluir, pero sin limitarse a, transductores de velocidad y potencia. El dispositivo de RAM y almacenamiento almacena y transfiere información e instrucciones a ser ejecutadas por el procesador. Los dispositivos de RAM y almacenamiento se pueden utilizar también para almacenar y proporcionar variables temporales, información e instrucciones estáticas (es decir, no cambiantes), u otra información intermedia a los procesadores durante la ejecución de las instrucciones por los procesadores. Las instrucciones que se ejecutan incluyen, pero no se limitan a, la conversión residente y/o algoritmos de comparación. La ejecución de secuencias de instrucciones no se limita a ninguna combinación específica de circuitos de hardware e instrucciones de software.

30 El sistema 200 eléctrico y de control incluye también el tacómetro 204 del rotor del generador que se acopla en comunicación electrónica de datos con el generador 118 y el controlador 202. El estator 120 del generador se acopla eléctricamente a un conmutador 208 de sincronización del estator a través de un bus 208 del estator. En la realización ejemplar, para facilitar la configuración de DFIG, el rotor 122 del generador se acopla eléctricamente a un conjunto 210 de conversión de potencia bidireccional a través de un bus 212 del rotor. Como alternativa, el sistema 200 se configura como un sistema de conversión de potencia plena (no mostrado) conocido en la técnica, en el que un conjunto de conversión de potencia plena (no mostrado) que es similar en diseño y operación al conjunto 210 se acopla eléctricamente al estator 120 y dicho conjunto de conversión de potencia plena facilita la canalización de la potencia eléctrica entre el estator 120 y una red de transmisión y distribución de potencia eléctrica (no mostrada). El bus 208 del estator transmite la potencia trifásica del estator 120 y el bus 212 del rotor transmite la potencia trifásica del rotor 122 al conjunto 210. El conmutador 206 de sincronización del estator se acopla eléctricamente a un disyuntor 214 del transformador principal a través de un bus 216 de sistema.

45 El conjunto 210 incluye un filtro 218 del rotor que se acopla eléctricamente al rotor 122 a través del bus 212 del rotor. El filtro 218 del rotor se acopla eléctricamente a un convertidor 220 de potencia bidireccional en un lado del rotor a través de un bus 219 de filtro del rotor. El convertidor 220 se acopla eléctricamente a un convertidor 222 de potencia bidireccional en un lado de la red. Los convertidores 220 y 222 son sustancialmente idénticos. El convertidor 222 de potencia se acopla eléctricamente a un filtro 224 de línea y a un contactor 226 de línea a través de un bus 223 de convertidor de potencia en un lado de la línea y un bus 225 de línea. En la realización ejemplar, los convertidores 220 y 222 se configuran en una configuración de modulación ancho de pulso trifásica (PWM) que incluye dispositivos de conmutación de transistores bipolares de puerta aislada (IGBT) (no mostrados en la Figura 2) que se "activan" como se conoce en la técnica. Como alternativa, los convertidores 220 y 222 tienen cualquier configuración utilizando cualquier dispositivo de conmutación que facilite la operación del sistema 200 tal como se describe en la presente memoria. El conjunto 210 se acopla en comunicación electrónica de datos con el controlador 202 para controlar la operación de los convertidores 220 y 222.

60 El contactor 226 de línea se acopla eléctricamente a un disyuntor 228 de conversión a través de un bus 230 del disyuntor de conversión. El disyuntor 228 se acopla también eléctricamente al disyuntor 214 del sistema a través del bus 216 del sistema y el bus 232 de conexión. El disyuntor 214 del sistema se acopla eléctricamente a un transformador 234 principal de potencia eléctrica a través de un bus 236 en el lado del generador. El transformador

234 principal se acopla eléctricamente a un disyuntor 238 de red a través de un bus 240 en el lado del disyuntor. El disyuntor 238 de red se conecta a una red de transmisión y distribución eléctrica a través de un bus 242 de red.

5 En la realización ejemplar, los convertidores 220 y 222 se acoplan en comunicación eléctrica entre sí a través de un único enlace 244 de corriente continua (CC). Como alternativa, los convertidores 220 y 222 se acoplan eléctricamente a través de enlaces individuales y separados de corriente continua (no mostrados en Figura 2). El enlace 244 CC incluye un carril 246 positivo, un carril 248 negativo, y al menos un condensador 250 acoplado entre los mismos. Como alternativa, el condensador 250 es uno o más condensadores configurados en serie o en paralelo entre los carriles 246 y 248.

10 El sistema 200 incluye, además, un regulador 400 de bucle de enganche de fase (PLL) que se configura para recibir una pluralidad de señales de medición de tensión a partir de una pluralidad de transductores 252 de tensión. En la realización ejemplar, cada uno de tres transductores 252 de tensión se acopla eléctricamente a cada una de las tres fases del bus 242. Como alternativa, los transductores 252 de tensión se acoplan eléctricamente al bus 216 del sistema. Además, Como alternativa, los transductores 252 de tensión se acoplan eléctricamente a cualquier parte del sistema 200 que facilite la operación del sistema 200 como se describe en la presente memoria. El regulador 400 de PLL se acopla en comunicación electrónica de datos con el controlador 202 y los transductores 252 de tensión a través de una pluralidad de conductos 254, 256, y 258 eléctricos. Como alternativa, el regulador 400 de PLL se configura para recibir cualquier número de señales de medición de tensión de cualquier número de transductores 252 de tensión, incluyendo, pero sin limitarse a, una señal de medición de tensión de un transductor 252 de tensión. El regulador 400 de PLL se describe más adelante.

20 Durante la operación, el viento impacta las palas 108 y las palas 108 transforman la energía mecánica del viento en un par de giro mecánico que acciona en giro el eje 112 de baja velocidad a través del cubo 110. El eje 112 de baja velocidad acciona la caja 114 de engranajes que intensifica posteriormente la velocidad de giro baja del eje 112 para accionar el eje 116 de alta velocidad a una mayor velocidad de giro. El eje 116 de alta velocidad acciona en giro el rotor 122. Un campo magnético giratorio se induce dentro del rotor 122 y se induce una tensión dentro del estator 120 que se acopla magnéticamente al rotor 122. El generador 118 convierte la energía mecánica de giro en una señal de energía eléctrica de corriente alterna (CA) sinusoidal, trifásica en el estator 120. La potencia eléctrica asociada se transmite al transformador principal 234 a través del bus 208, el conmutador 206, el bus 216, el disyuntor 214 y el bus 236. El transformador 234 principal intensifica la amplitud de voltaje de la potencia eléctrica y la potencia eléctrica transformada se transmite adicionalmente a una red a través del bus 240, el disyuntor 238 y el bus 242.

35 En la configuración del generador de inducción doblemente alimentado, se proporciona una segunda trayectoria de transmisión de potencia eléctrica. La potencia de CA, eléctrica, trifásica, sinusoidal se genera dentro de rotor 122 bobinado y se transmite al conjunto 210 a través del bus 212. Dentro del conjunto 210, la potencia eléctrica se transmite al filtro 218 del rotor en el que la potencia eléctrica se modifica para la tasa de cambio de las señales de PWM asociadas con el convertidor 220. El convertidor 220 actúa como un rectificador y rectifica la potencia de CA a potencia de CC trifásicas, sinusoidales. La potencia de CC se transmite al circuito 244 intermedio. El condensador 250 facilita las variaciones de amplitud de tensión del enlace 244 de CC mitigantes, facilitando la mitigación de una onda de CC asociada con la rectificación de CA.

40 La potencia de CC se transmite posteriormente del enlace 244 de CC al convertidor 222 de potencia en el que el convertidor 222 actúa como un inversor configurado para convertir la potencia eléctrica de CC del enlace 244 de CC en una potencia eléctrica de CA trifásica, sinusoidal con tensiones, corrientes y frecuencias predeterminadas. Esta conversión se supervisa y controla a través del controlador 202. La potencia de CA convertida se transmite del convertidor 222 al bus 216 a través de los buses 227 y 225, el contactor 226 de línea, el bus 230, el disyuntor 228 y el bus 232. El filtro 224 de línea compensa o ajusta las corrientes armónicas en la potencia eléctrica transmitida desde el convertidor 222. El conmutador 206 de sincronización del estator se configura para cerrarse de tal manera que se facilita la conexión de la potencia trifásica del estator 120 con la potencia trifásica del conjunto 210.

50 Los disyuntores 228, 214, y 238 se configuran para desconectar los buses correspondiente, por ejemplo, cuando el flujo de corriente es excesivo y puede dañar los componentes del sistema 200. También se proporcionan componentes de protección adicionales, incluyendo el contactor 226 de línea, que se puede controlar para formar una desconexión mediante la apertura de un conmutador (no mostrado en la Figura 2) correspondiente a cada una de las líneas del bus 230 de línea.

55 El conjunto 210 compensa o ajusta la frecuencia de la alimentación trifásica del rotor 122 para los cambios, por ejemplo, en la velocidad del viento en el cubo 110 y las palas 108. Por lo tanto, de esta manera, las frecuencias de rotor mecánicas y eléctricas se desacoplan y la coincidencia eléctrica de frecuencias del estator y del rotor se facilita sustancialmente independientemente de la velocidad del rotor mecánico.

En algunas condiciones, las características bidireccionales del conjunto 210, y específicamente, las características bidireccionales de los convertidores 220 y 222, facilitan la retroalimentación de al menos algo de la potencia eléctrica generada en el rotor 122 del generador. Más específicamente, la potencia eléctrica se transmite del bus 216 al bus 232 y, posteriormente, a través del disyuntor 228 y el bus 230 al conjunto 210. Dentro del conjunto 210, la potencia

eléctrica se transmite a través del contactor 226 y los buses 225 y 227 al convertidor 222 de potencia. El convertidor 222 actúa como un rectificador y rectifica la alimentación de AC a alimentación CC trifásicas, sinusoidales. La potencia de CC se transmite al circuito 244 intermedio. El condensador 250 facilita la mitigación de las variaciones de amplitud de tensión del enlace 244 de CC facilitando la mitigación de una ondulación de CC a veces asociada con la rectificación de CA trifásica.

La potencia de CC se transmite posteriormente del enlace 244 de CC al convertidor 220 de potencia en el que el convertidor 220 actúa como un inversor configurado para convertir la potencia eléctrica de CC transmitida desde el circuito 244 intermedio en una potencia eléctrica de CA trifásica, sinusoidal con tensiones, corrientes y frecuencias pre-determinadas. Esta conversión se vigila y controla mediante el controlador 202. La potencia de CA convertida se transmite desde el convertidor 220 al filtro 218 del rotor a través del bus 219 se transmite posteriormente al rotor 122 a través del bus 212. De esta manera, se facilita el control de la potencia reactiva del generador.

El conjunto 210 se configura para recibir señales de control desde el controlador 202. Las señales de control se basan en las condiciones detectadas o características de operación de la turbina 100 eólica y del sistema 200 como se describe en la presente memoria y se utiliza para controlar la operación del conjunto 210 de conversión de potencia. Por ejemplo, la retroalimentación del tacómetro 204 en la forma de la velocidad detectada del rotor 122 del generador se puede utilizar para controlar la conversión de la potencia de salida del bus 212 del rotor para mantener una condición de potencia trifásica correcta y equilibrada. Otra retroalimentación de otros sensores se puede utilizar también por el sistema 200 para controlar el conjunto 210 incluyendo, por ejemplo, las retroalimentaciones de tensiones y corrientes de los buses del estator y del rotor. Utilizando esta información de retroalimentación, y por ejemplo, señales de control de conmutación, señales de control de conmutación de sincronización del estator, y señales (de desconexión) de control del disyuntor del sistema se pueden generar de cualquier manera conocida. Por ejemplo, para un transitorio de tensión de red con características predeterminadas, el controlador 202 suspenderá sustancialmente al menos temporalmente la activación de los IGBT dentro del convertidor 222. Tal suspensión de la ejecución del convertidor 222 atenuará sustancialmente la potencia eléctrica que se canaliza a través del conjunto 210 de conversión a aproximadamente cero.

La Figura 3 es una vista gráfica de la tensión de línea de la red en función del tiempo 300 que se puede asociar con el sistema 200 eléctrico y de control (mostrado en la Figura 2). El gráfico 300 incluye un eje 302 de ordenadas (eje y) que representa la tensión de línea de la red en unidades de porcentaje (%). El eje 302 y ilustra un 0 % en el origen del gráfico y se extiende hasta el 100 %. Una tensión de línea de la red de 0 % es indicativa de una tensión cero en el bus 242 (mostrado en la Figura 2). Una tensión de línea de la red del 100 % indica una tensión en el bus 242 que es el 100 % de la tensión nominal predeterminada asociada con el sistema 200. El gráfico 300 incluye también un eje 304 de abscisas (eje x) que representa el tiempo en segundos (s). Un transitorio de tensión cero se ilustra al momento en que el tiempo es igual a 0 segundos. En la realización ejemplar, la condición de tensión cero en el bus 242 es de 0,15 segundos donde la tensión en el bus 242 se recupera totalmente al 100 % en aproximadamente 3,5 segundos después del inicio del transitorio. Como alternativa, una longitud de tiempo de la condición de tensión cero y las características de una recuperación de la tensión de red dependen de una variedad de factores conocidos en la técnica.

Cuando la tensión disminuye a cero, como se ilustra en la Figura 3, es probable que haya fallos que impidan al generador 100 de turbina eólica transmitir potencia eléctrica a la red. En el caso de que el viento siga haciendo girar el rotor 106 (mostrado en las Figuras 1 y 2), el generador 100 de turbina eólica continúa generando energía que no se convierte en energía eléctrica. En lugar de ello, la energía acelera el rotor 106 hasta que se inicia una característica de activación que incluye, pero no se limita a, una desconexión manual o una desconexión por exceso de velocidad automatizada.

Por otra parte, por lo general, el conjunto 210 de convertidor de potencia y el generador 118 (ambos mostrados en la Figura 2) son susceptibles a las fluctuaciones de tensión de la red. El generador 118 puede almacenar energía magnética que se puede convertir a altas corrientes cuando la tensión en los bornes del generador disminuye rápidamente. Esas corrientes pueden atenuar las expectativas de vida de los componentes del conjunto 210 que pueden incluir, pero sin limitarse a, dispositivos semiconductores tales como los IGBT dentro de los convertidores 220 y 222 (ambos mostrados en la Figura 2).

La Figura 4 es una vista en diagrama de bloques del regulador 400 de bucle de enganche de fase (PLL) ejemplar que se puede utilizar con el sistema 200 eléctrico y de control. El regulador 400 de PLL se configura para facilitar una capacidad de paso por tensión cero (ZVRT) para el generador 100 de turbina eólica de tal manera que un potencial para una desconexión del generador de turbina eólica y las consecuencias asociadas a los dispositivos semiconductores se mitigan durante transitorios de tensión cero tal como se ilustra en la Figura 3. ZVRT se contrasta con las características de paso por tensión baja (LVRT) conocidas en la técnica que faciliten la mitigación de las desconexiones del generador 100 de turbina eólica durante los transitorios en los que la amplitud de la tensión disminuye rápidamente, sin embargo, no disminuye a cero voltios.

El regulador 400 de PLL se acopla en comunicación electrónica de datos con la pluralidad de transductores 252 de tensión a través de conductos 254, 256, y 258 eléctricos para las fases A, B y C del bus 242 de red. En la realización ejemplar, los conductos 254, 256 y 258 son cables eléctricos. Como alternativa, una red de transmisores y

receptores que operan en una porción predeterminada de una banda radiofrecuencia (RF) se pueden utilizar para definir los conductos 254, 256 y 258. Las señales de medición de tensión sinusoidales se transmiten desde los transductores 252 de tensión a través de los conductos 254, 256, y 258 para cada una de las tres fases A, B y C, respectivamente.

- 5 En la realización ejemplar, el regulador 400 de PLL se configura como una pluralidad de módulos de función dentro de un procesador (no se muestra en la Figura 4). Para mayor claridad, el regulador 400 de PLL se ilustra fuera del controlador 202. Como alternativa, el regulador 400 de PLL se configura dentro de un procesador asociado con el controlador 202.

10 El regulador 400 de PLL incluye al menos un bucle 402 de enganche de fase (PLL). Normalmente, un PLL es un esquema de retroalimentación de bucle cerrado que mantiene señales generadas por el PLL en una relación de fase fija con una señal de referencia. La señal generada por PLL se ajusta constantemente para coincidir, en fase, con la frecuencia de la señal de referencia, es decir, el PLL "se conecta" en la señal de referencia. En la realización ejemplar, el PLL 402 se conecta en la frecuencia del bus 242. El regulador 400 de PLL incluye también al menos una máquina 404 de estado del PLL que se describe en más detalle a continuación.

15 El PLL 402 incluye un bloque 406 de función detectora de fase que se configura para recibir las señales de medición de tensión sinusoidales transmitidas desde los conductos 254, 256 y 258 para la fase A, fase B y fase C de del bus 242 de red, respectivamente. El bloque 406 de función se configura también para recibir una señal 407 de retroalimentación del ángulo de fase y, posteriormente, combina las señales de medición de tensión con la señal 407 para generar una señal 408 de error de fase. La señal 408 se mide normalmente en radianes (r).

20 El PLL 402 incluye también un filtro 410 proporcional-integral (PI). El filtro 410 de PI incluye un bloque 412 de función de ganancia proporcional. El bloque 412 de función se configura para recibir la señal 408. El bloque 412 de función se configura también para recibir una señal 414 de constantes de ganancia proporcional de un registro 416 de constantes de ganancia proporcional. El registro 416 se rellena con los valores determinados en función de un estado de PLL (o, modo de PLL) como se determina por la máquina 404 de estado de PLL que se describe a continuación. El bloque 412 de función se configura además para multiplicar la señal 408 por la señal 414 para generar una señal 418 de ganancia proporcional y para transmitir la señal 418 a un bloque 420 de función suma. La señal 418 se mide normalmente en r/s.

30 El filtro 410 de PI también incluye un bloque 422 de función de ganancia integral. El bloque 422 de función se configura para recibir la señal 408. El bloque 422 de función se configura también para recibir una señal 424 de constantes de ganancia integral desde un registro 426 de constantes de ganancia integral. El registro 426 se rellena con valores determinados como una función de un estado de PLL (o, modo de PLL) como se determina por la máquina 404 de estado de PLL que se describe a continuación. El bloque 422 de función se configura, además, para integrar la señal 408 con respecto al tiempo y multiplicar el valor de la integral de la señal 424 para generar y transmitir una señal 428 de ganancia integral a un bloque 430 de función de fijación. La señal 428 se mide normalmente en r/s. El bloque 430 de función es un mecanismo de filtro que permite que una señal 432 de ganancia integral fijada se transmita al bloque 420 de función suma si la señal 428 reside entre un límite superior y un límite inferior. La señal 432 se mide normalmente en r/s. En contraste, si la señal 428 reside fuera de un intervalo definido por los límites alto y bajo, la señal 428 se bloquea de su transmisión adicional. Los límites alto y bajo del bloque 430 de función se transmiten y se rellenan dentro de un registro 434 de límite superior y de un registro 436 de límite inferior, respectivamente, con valores determinados en función de un estado de PLL (o modo de PLL) determinado por la máquina 404 de estado de PLL descrita a continuación.

35 El bloque 420 de función sumas las señales 418 y 432 para generar una señal 438 de PI y transmite la señal 438 a un bloque 440 de función de fijación. La señal 438 se mide normalmente en r/s. El bloque 440 de función es un mecanismo de filtro que permite que una señal 442 de ganancia integral fijada se transmita a un bloque 444 de función integración si la señal 438 reside entre un límite superior y un límite inferior. La señal 442 se mide normalmente en r/s. Por el contrario, si la señal 438 reside fuera del intervalo definido por los límites superior e inferior, la señal 438 se bloquea de su transmisión adicional. Los límites superior e inferior del bloque 440 de función se transmiten a y se rellenan dentro de un registro 446 de límite superior y un registro 448 de límite inferior con valores determinados en función de un estado de PLL (o modo de PLL) determinado por la máquina 404 de estado de PLL descrita a continuación.

45 El bloque 444 de función integración se configura para recibir la señal 442 y para integrar la señal 444 con respecto al tiempo. El bloque 444 de función genera una señal 450 de ángulo de fase de PLL que se transmite al controlador 202 para el control del conjunto 210 para el control posterior de las corrientes eléctricas inyectadas en el bus 216 (ambos mostrados en la Figura 2). La señal 407 de retroalimentación es idéntica a la señal 450 y se transmite al bloque 406 de función como se ha descrito anteriormente. Las señales 450 y 407 se miden normalmente en radianes (r).

Las señales de medición de tensión de la red se transmiten también a la máquina 404 de estado de PLL desde los transductores 252 para utilizarse como se describe a continuación.

Se proporciona el procedimiento A para la operación del generador 118. El procedimiento incluye acoplar el generador 118 a la red de tal manera que la red se configura para transmitir al menos una fase de la potencia eléctrica hacia y desde el generador 118. El procedimiento incluye también la configuración del generador 118 de tal manera que el generador 118 permanece eléctricamente conectado al sistema de potencia eléctrica durante y después de una amplitud de tensión del sistema de potencia eléctrica que opera fuera de un intervalo predeterminado durante un período de tiempo indeterminado. En concreto, tal procedimiento incluye la configuración del generador 118 de tal manera que el generador 118 permanece conectado eléctricamente a la red durante y después de una amplitud de tensión de la potencia eléctrica que disminuye a aproximadamente cero voltios durante un período de tiempo predeterminado, facilitando de este modo el paso por tensión cero (ZVRT). Por otra parte, facilitar que el generador 118 permanezca conectado eléctricamente a la red durante un evento de ZVRT facilita posteriormente que el generador 118 continúe operando soportando así la red durante el transitorio.

En concreto, la Figura 5 es una vista en diagrama de bloques de la máquina 404 de estado de PLL ejemplar que se puede utilizar con el regulador 400 de PLL (mostrado en la Figura 4). En la realización ejemplar, la máquina 404 de estado se configura para transferir el regulador 400 de PLL a al menos uno de cuatro estados, o modos, de operación como una función de las características de señales de tensión recibidas como se ha descrito anteriormente. Como alternativa, la máquina 404 de estado de PLL y el regulador 400 de PLL incluyen cualquier número de estados que faciliten la operación de la turbina 100 eólica como se describe en la presente memoria. Cada cambio de estado de operación facilita una conmutación dinámica entre las constantes de ganancia agresivas y no agresivas y las fijaciones no restrictivas y restrictivas contenidas dentro de los registros 416, 426, 434, 436, 446 y 448 (todos mostrados en la Figura 4). Tal conmutación se puede configurar para ser deslizante en naturaleza, discreta en naturaleza, o alguna combinación de las mismas. Por lo tanto, la pluralidad de estados de operación facilita el paso por tensión cero (ZVRT), así como otros fallos de red facilitando al mismo tiempo la operación normal. Estas características facilitan la gestión de tales ganancias y fijaciones de forma dinámica en función de las características de tensión de la red eléctrica con la que el PLL 402 (mostrado en la Figura 4) intenta conectarse y/o mantenerse conectado.

La máquina 404 de estado se configura para recibir las señales de medición de tensión de la red transmitidas al regulador 400 de PLL desde los transductores 252 a través de los conductos 254, 256 y 258 (todos mostrados la Figura 4). La máquina 404 de estado se configura además para recibir una señal 502 de entrada de "encendido" después de encender con éxito el regulador 400 de PLL. La recepción de la señal 502 de entrada inicia la máquina 404 de estado, cambiando al estado 0. El estado 0 se caracteriza por la máquina 404 de estado que pre-acondiciona un conjunto de valores a insertarse en los registros 416, 426, 434, 436, 446 y 448.

La Figura 6 es una vista tabular de una pluralidad de valores 600 de ganancia y de límites de frecuencia ejemplares generados como una función del estado de PLL según lo determinado por la máquina 404 de estado de PLL (mostrada en la Figura 5). La columna 602 representa una pluralidad de filas 0, 1, 2 y 3 cada una correspondiendo a un estado de operación del regulador 400 de PLL (mostrado en la Figura 5). El regulador 400 de PLL puede estar en un solo estado de operación en cualquier momento. La columna 604 representa una pluralidad de valores de constantes de ganancia que se pueden almacenar en el registro 416 (mostrado en la Figura 4). La columna 606 representa una pluralidad de valores de constantes de ganancia que se pueden almacenar en el registro 426 (mostrado en la Figura 4). La columna 606 representa una pluralidad de valores de límites de frecuencia mínimos que se pueden almacenar en los registros 436 y 448. La columna 608 representa una pluralidad de valores de límites de frecuencia máximos que se pueden almacenar en los registros 434 y 446. Por ejemplo, cuando el regulador 400 de PLL se encuentra en el estado 0 los valores A y C de ganancia se encuentran en los registros 416 y 426, respectivamente. En la realización ejemplar, los valores A y C representan diferentes valores numéricos, por ejemplo, pero sin limitarse a, 2,46737 y 328,039, respectivamente. Por otra parte, en el estado 0, el valor E se encuentra en los registros 436, 448, 434, y 446. En la realización ejemplar, el valor E representa un valor numérico, por ejemplo, pero no se limita a, 376,99. Como alternativa, los diferentes valores numéricos que facilitan la operación del sistema 200 tal como se describe en la presente memoria pueden estar en los registros 436, 448, 434, y 446.

Haciendo referencia a la Figura 5, en la realización ejemplar, después de un período predeterminado de tiempo (normalmente de unos pocos segundos), la máquina 404 de estado alcanza un permiso para desplazar el regulador 400 al estado 1. Después de la sincronización correcta del generador 100 de turbina eólica con la red, tal como se determina por un cierre del disyuntor 238, por ejemplo, la máquina 404 de estado cambia el regulador 400 al estado 1 a través de una trayectoria 504 de transición. Como alternativa, las condiciones que facilitan la operación del sistema 200 tal como se describe en la presente memoria se pueden utilizar. Más aún, después de la desincronización del generador 100 de turbina eólica de la red, como se determina por ejemplo mediante una apertura del disyuntor 238, la máquina 404 de estado cambia el regulador 400 al estado 0 desde un estado 1 a través de una trayectoria 506 de transición.

Haciendo referencia a la Figura 6, cuando el regulador 400 de PLL se encuentra en el estado 1 los valores A y C de ganancia se encuentran en los registros 416 y 426, respectivamente. En la realización ejemplar, los valores A y C representan diferentes valores numéricos, por ejemplo, pero sin limitarse a, 2,46737 y 328,039, respectivamente. Por otra parte, en el estado 1, el valor F se encuentra en los registros 436 y 448, y el valor H se encuentra en los registros 434 y 446. En la realización ejemplar, los valores F y H representan diferentes valores numéricos, por ejemplo, pero sin limitarse a, -1507,96 y 1884,96, respectivamente. Como alternativa, los diferentes valores

numéricos que facilitan la operación del sistema 200 tal como se describe en la presente memoria pueden estar en los registros 436, 448, 434, y 446. Los valores A y C se refieren a veces como valores "calientes" y los valores F y H se refieren a veces como valores "anchos". Tales valores facilitan la conexión inicial del PLL 402 a la frecuencia de red.

5 Haciendo referencia a la Figura 5, en la realización ejemplar, después de un período de tiempo predeterminado después de que el PLL 402 se conecte en la frecuencia de red, la máquina 404 de estado cambia el regulador 400 al estado 2 a través de una trayectoria 508 de transición. Como alternativa, cualquier condición que facilite la operación del sistema 200 como se describe en la presente memoria se puede utilizar. Después de la desincronización del generador 100 de turbina eólica respecto a la red, como se determina por ejemplo mediante una apertura del disyuntor 238, la máquina 404 de estado cambia el regulador 400 al estado 0 desde el estado 2 a través de una trayectoria 510 de transición.

10 Haciendo referencia a la Figura 6, cuando el regulador 400 de PLL se encuentra en el estado 2 los valores B y D de ganancia se encuentran en los registros 416 y 426, respectivamente. En la realización ejemplar, los valores B y D representan diferentes valores numéricos, por ejemplo, pero sin limitarse a, 0,039937 y 0,393601, respectivamente. Por otra parte, en el estado 2, el valor G se encuentra en los registros 436 y 448, y el valor I se encuentra en los registros 434 y 446. En la realización ejemplar, los valores G e I representan diferentes valores numéricos, por ejemplo, pero no se limitan a, 94,2478 y 502.529, respectivamente. Por otra parte, los diferentes valores numéricos que facilitan la operación del sistema 200 como se describe en la presente memoria pueden estar en los registros 436, 448, 434, y 446. Los valores B y D se refieren a veces como valores "frescos" y los valores G e I se refieren a veces como valores "estrechos". Tales valores facilitan que el PLL 402 se ajuste a los transitorios de frecuencia en la red más lentamente que en el estado 1. Esta característica facilita una reacción lenta del sistema 200 a las fluctuaciones normales, menores de las condiciones de tensión de red. Por otra parte, tales valores facilitan un cambio de estado para las perturbaciones de red más severas como se describe más adelante. En circunstancias normales, la mayoría de las veces que el generador 100 de turbina eólica está sincronizado a la red, el regulador 400 se encuentra en el estado 2.

Haciendo referencia a la Figura 5, en la realización ejemplar, en caso de un fallo de red no síncrono, anormalmente bajo (no cero) y/o altas amplitudes de tensión alta, y/o que la señal 450 de error de fase de PLL (mostrada en la Figura 4) supere un umbral predeterminado, la máquina de 404 de estado cambia el regulador 400 al estado 1 desde el estado 2 a través de una trayectoria 512 de transición. Como alternativa, las condiciones que facilitan la operación del sistema 200 tal como se describe en la presente memoria se pueden utilizar. Mientras que en el estado 1, los valores de ganancia y de fijación apropiados se encuentran en los registros apropiados como se ha descrito anteriormente. Después de la restauración de la tensión de red a los valores predeterminados, después de un período predeterminado de tiempo después de que el PLL 402 se conecte en la frecuencia de red, y la señal 450 de error de PLL permanece bajo un umbral predeterminado durante un periodo de tiempo predeterminado, la máquina de estado 404 cambia el regulador 400 al estado 2 desde el estado 1 a través de la trayectoria 508 de transición. Mientras se encuentra en el estado 2, los valores de ganancia y de fijación se encuentran en los registros apropiados como se ha descrito anteriormente y la LVRT se facilita.

Mientras el regulador 400 se encuentra en el estado 1, un cambio a un estado 3 puede ocurrir a través de una trayectoria 514 de transición. Del mismo modo, mientras que el regulador 400 se encuentra en el estado 2, se puede producir un cambio al estado 3 desde el estado 2 a través de una trayectoria 516 de transición. En la realización ejemplar, los pre-requisitos para cambiar de los estados 1 y 2 al estado 3 incluyen una perturbación de tensión de red que está asociada con un fallo simétrico que disminuye la tensión de la red a cero voltios. Haciendo referencia a la Figura 6, cuando el regulador 400 de PLL se encuentra en estado de 3 los valores A y C de ganancia se encuentran en los registros 416 y 426, respectivamente. En la realización ejemplar, los valores A y C representan diferentes valores numéricos, por ejemplo, pero sin limitarse a, 2,46737 y 328.039, respectivamente. Por otra parte, en el estado 3, el valor E se encuentra en los registros 436, 448, 434, y 446. En la realización ejemplar, el valor E representa un valor numérico, por ejemplo, pero no se limita a, 376,99. Como alternativa, diferentes valores numéricos que facilitan la operación del sistema 200 tal como se describe en la presente memoria pueden estar en los registros 436, 448, 434, y 446. Estos valores facilitan que la señal 450 de ángulo de fase de PLL se conduzca a un valor de ángulo de fase que sería, en efecto, si no hubiera perturbación en la red. Esto facilita aún más que el PLL 402 que está siendo accionado oscile a una frecuencia predeterminada que es sustancialmente similar a la frecuencia de operación nominal, por ejemplo, pero no se limita a, 60 Hz. En estas circunstancias, un potencial para la desconexión del generador de turbina eólica se mitiga y la ZVRT se facilita.

Haciendo referencia a la figura 5, después de la restauración de la tensión de red, el regulador 400 cambia del estado 3 al estado 1 a través de una trayectoria 518 de transición. Como alternativa, las condiciones que facilitan la operación del sistema 200 tal como se describe en la presente memoria se pueden utilizar. Mientras que en el estado 1, los valores de ganancia y de fijación apropiados se encuentran en los registros apropiados como se ha descrito anteriormente. Después de la restauración de la tensión de red en los valores predeterminados, después de un período predeterminado de tiempo después de que el PLL 402 se conecte en la frecuencia de la red, y la señal 450 de error de PLL permanezca bajo un umbral predeterminado durante un período de tiempo predeterminado, la máquina 404 de estado cambia el regulador 400 al estado 2 desde un estado 1 a través de una trayectoria 508 de transición. Si bien en el estado 2, los valores de ganancia y de fijación apropiados se encuentran en los registros

apropiados como se ha descrito anteriormente. El cambio del estado 3 al estado 1 y después al estado 2 facilita efectuar el cambio de estado de forma uniforme. Después de la desincronización del generador 100 de turbina eólica con respecto a la red, como se determina por ejemplo mediante una apertura del disyuntor 238, la máquina 404 de estado cambia el regulador 400 al estado 0 desde el estado 3 a través de una trayectoria 520 de transición.

- 5 El procedimiento y aparato para un sistema de control de generador de turbina eólica descrito en el presente documento facilita la operación de un generador de turbina eólica. Más específicamente, el sistema eléctrico y de control del generador de turbina eólica como se ha descrito anteriormente facilita una generación eléctrica eficiente y eficaz y el esquema de transferencia de carga mecánica. Además, el sistema robusto eléctrico y de control facilita la eficiencia de la producción y la eficacia del generador. Tal sistema de control facilita también la fiabilidad del generador de turbina eólica y los cortes del generador de turbina eólica mediante la reducción del número de desconexiones a las perturbaciones de la red.
- 10

- Las realizaciones ejemplares de los sistemas eléctricos y de control de la turbina eólica como asociados con los generadores de turbinas eólicas se han descrito en detalle anteriormente. Los procedimientos, aparatos y sistemas no se limitan a las realizaciones específicas descritas en la presente memoria ni a los generadores específicos de turbina eólica ilustrados.
- 15

Si bien la invención se ha descrito en términos de diversas realizaciones específicas, los expertos en la materia reconocerán que la invención puede ponerse en práctica con modificaciones dentro del alcance de las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema (200) de control para una máquina (100) eléctrica, la máquina (100) eléctrica configurada para acoplarse eléctricamente a un sistema (242) de potencia eléctrica, en el que el sistema (242) de potencia eléctrica se configura para transmitir al menos una fase de potencia eléctrica hacia y desde la máquina (100) eléctrica, dicho sistema (200) de control facilita que la máquina (100) eléctrica permanezca conectada eléctricamente al sistema (242) de potencia eléctrica durante y después de al menos una amplitud de tensión de la potencia eléctrica que opera fuera de un intervalo predeterminado durante un periodo de tiempo sin determinar, en el que el sistema (200) de control comprende al menos un regulador (400) de bucle de bloqueo de fase (PLL) acoplado en comunicación de datos electrónicos con al menos una porción del sistema (242) de potencia eléctrica, comprendiendo dicho al menos un regulador (400) de bucle de bloqueo de fase (PLL):
 al menos un PLL que comprende al menos un bloque (406) de función de detección de fase y al menos un filtro (410) proporcional-integral (PI); y
 al menos una máquina (404) de estado de PLL acoplada en comunicación electrónica de datos con al menos una porción de dicho PLL (402); **caracterizado porque:**
- dicha máquina (404) de estado de PLL comprende al menos un algoritmo configurado para determinar un estado de dicho regulador (400) de PLL como una función de al menos una amplitud de tensión de la potencia eléctrica y al menos una tabla de valores numéricos que comprende al menos:
 dicha pluralidad de constantes (414) de ganancia proporcionales;
 dicha pluralidad de constantes (424) de ganancia integral;
 dicha pluralidad de límites de filtro integrales; y
 dicha pluralidad de límites de filtro de suma.
2. Un sistema (200) de control de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dicho sistema de control facilita que la máquina (100) eléctrica permanezca conectada eléctricamente a un sistema de potencia eléctrica de corriente alterna trifásica durante y después de una amplitud de tensión de cada fase de la potencia eléctrica que disminuye a aproximadamente cero voltios durante un periodo de tiempo predeterminado, facilitando de este modo un paso por tensión cero (ZVRT).
3. Un sistema (200) de control de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2 que comprende al menos un algoritmo configurado para ajustar al menos uno de los siguientes en función de al menos una amplitud de tensión de la potencia eléctrica:
 al menos un valor numérico de constante de ganancia;
 al menos un valor numérico de límite máximo; y
 al menos un valor numérico de límite mínimo.
4. Un sistema (200) de control de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que dicho filtro (410) PI comprende:
 al menos un algoritmo de ganancia proporcional configurado para recibir al menos una constante de ganancia proporcional seleccionada de una pluralidad de constantes de ganancia proporcionales como una función de al menos una amplitud de tensión de la potencia eléctrica, configurándose además dicho algoritmo de ganancia proporcional para generar una señal de ganancia proporcional;
 al menos un algoritmo de ganancia integral configurado para recibir al menos una constante (424) de ganancia integral seleccionada de una pluralidad de constantes de ganancia integral como una función de al menos una amplitud de tensión de la potencia eléctrica, dicho algoritmo de ganancia integral configurado adicionalmente para generar una señal (428, 432, 442) de ganancia integral;
 al menos un algoritmo de filtro integral configurado para recibir al menos un límite de filtro integral seleccionado de una pluralidad de límites de filtro integral como una función de al menos una amplitud de tensión de la potencia eléctrica, estando dicho algoritmo de filtro integral configurado además para generar una señal integral filtrada;
 al menos un algoritmo de suma configurado para recibir y sumar dicha ganancia proporcional y señales integrales filtradas y generar una señal de suma; y
 al menos un algoritmo de filtro de suma configurado para recibir al menos un límite de filtro de suma seleccionado de entre una pluralidad de límites de filtro de suma como una función de al menos una amplitud de tensión de la potencia eléctrica.
5. Un sistema (200) de control de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que dicha máquina (404) de estado de PLL está configurada para transmitir al menos una de las siguientes como una función de dicho estado del regulador (400) de PLL:
 dicha constante (414) de ganancia proporcional seleccionada de entre dicha pluralidad de constantes de ganancia proporcionales;
 dicha constante (424) de ganancia integral seleccionada de entre dicha pluralidad de constantes de ganancia integrales;

dicho límite de filtro integral seleccionado de entre dicha pluralidad de límites de filtro integrales; y dicho límite de filtro de suma seleccionado de entre dicha pluralidad de límites de filtro de suma.

6. Una turbina (100) eólica que comprende:

- 5 al menos un generador (118) de potencia eléctrica configurado para acoplarse eléctricamente a un sistema (242) de potencia eléctrica, en el que el sistema (242) de potencia eléctrica se configura para transmitir al menos una fase de potencia eléctrica hacia y desde dicho generador (118); y al menos un sistema (200) de control según se define en cualquier reivindicación anterior.

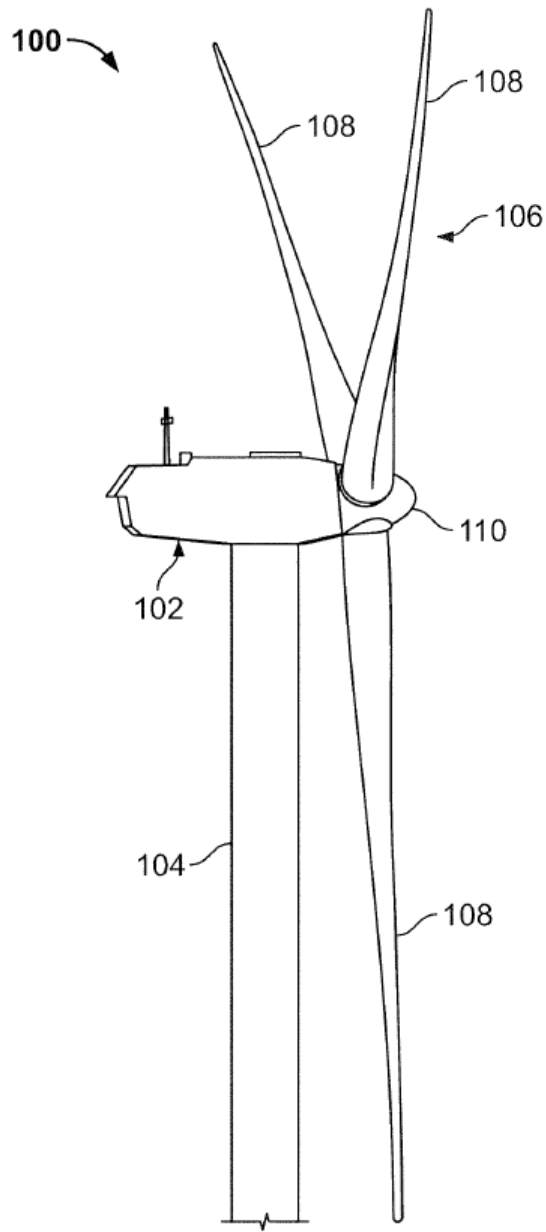


FIG. 1

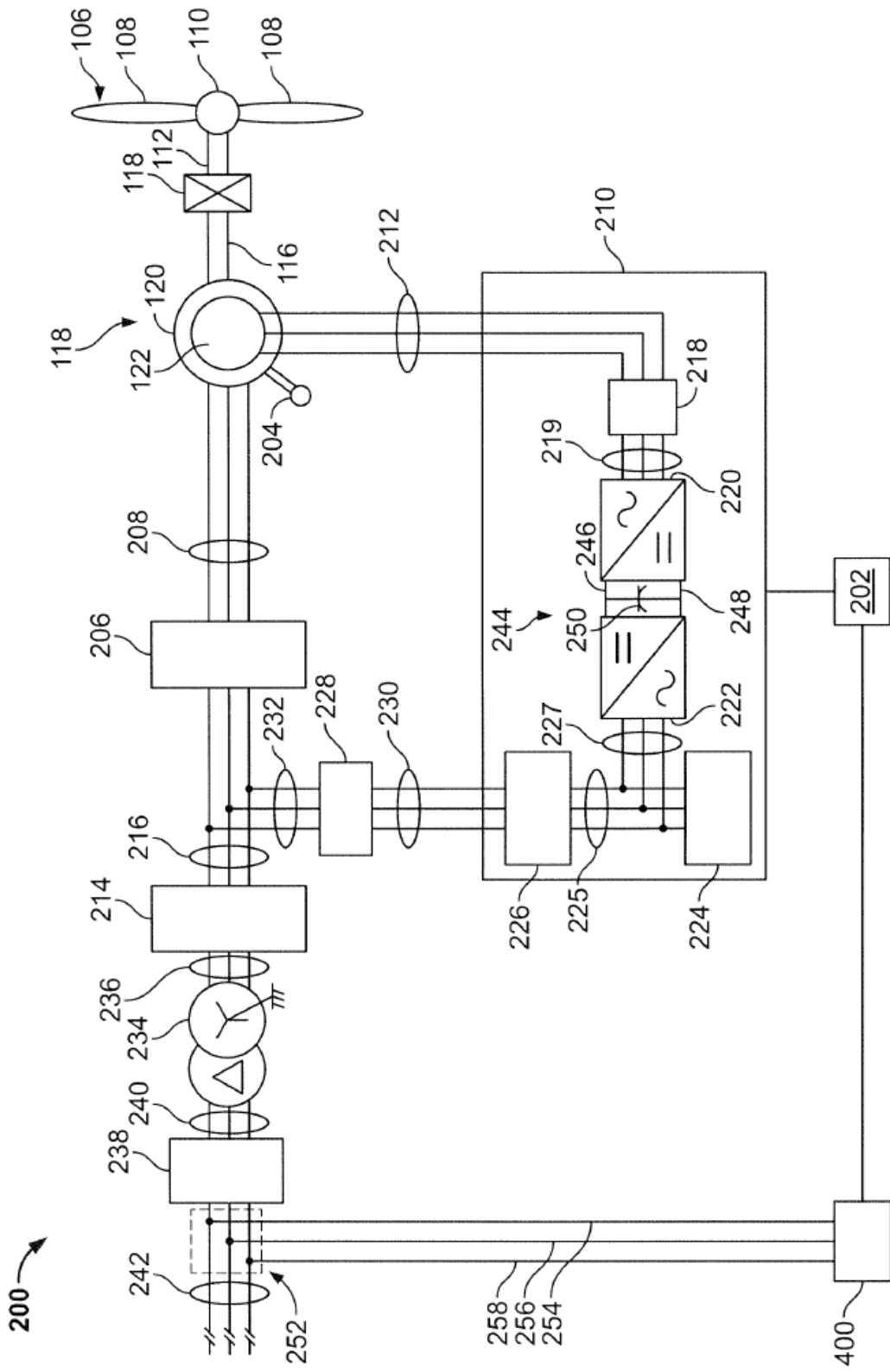


FIG. 2

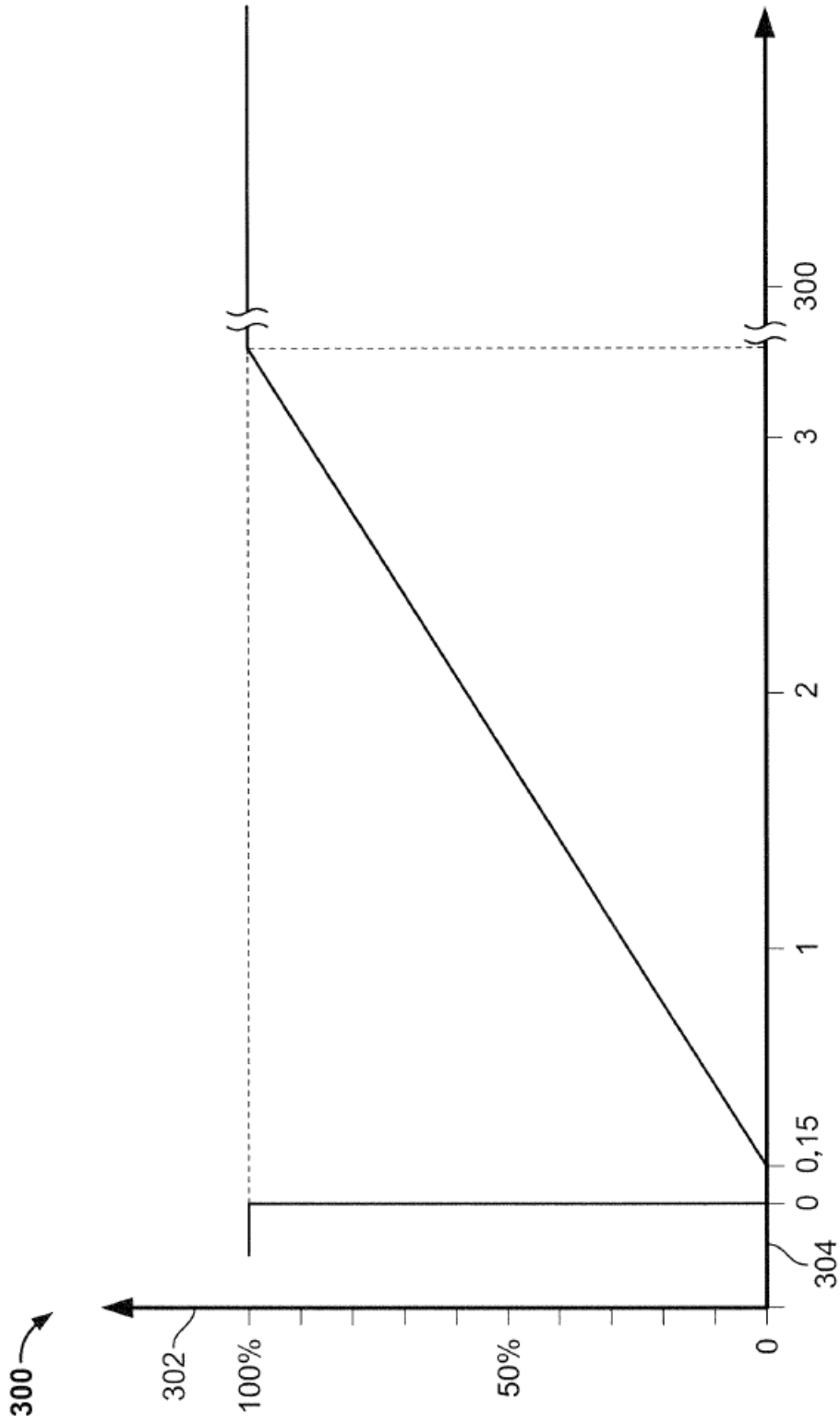


FIG. 3

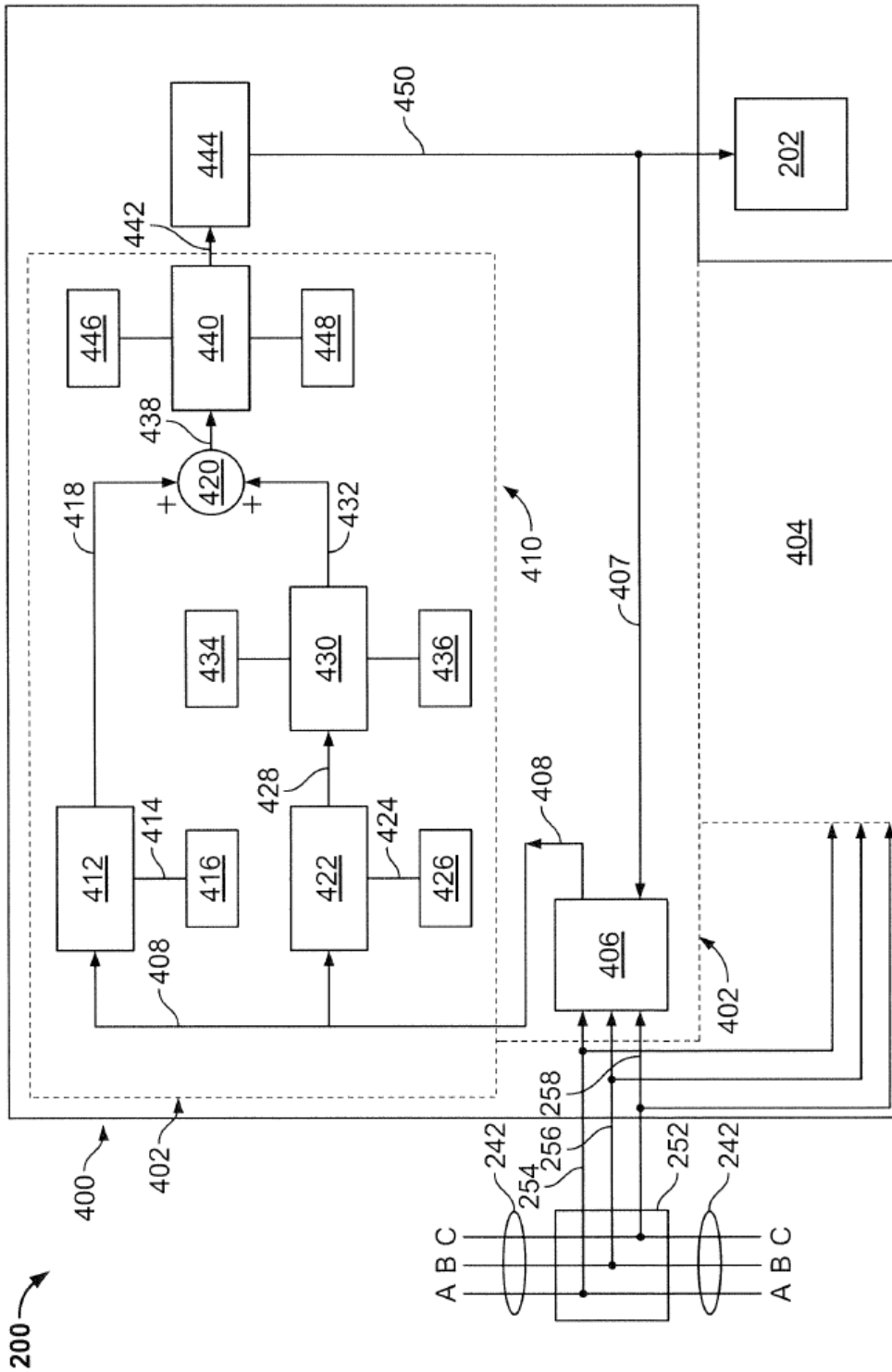


FIG. 4

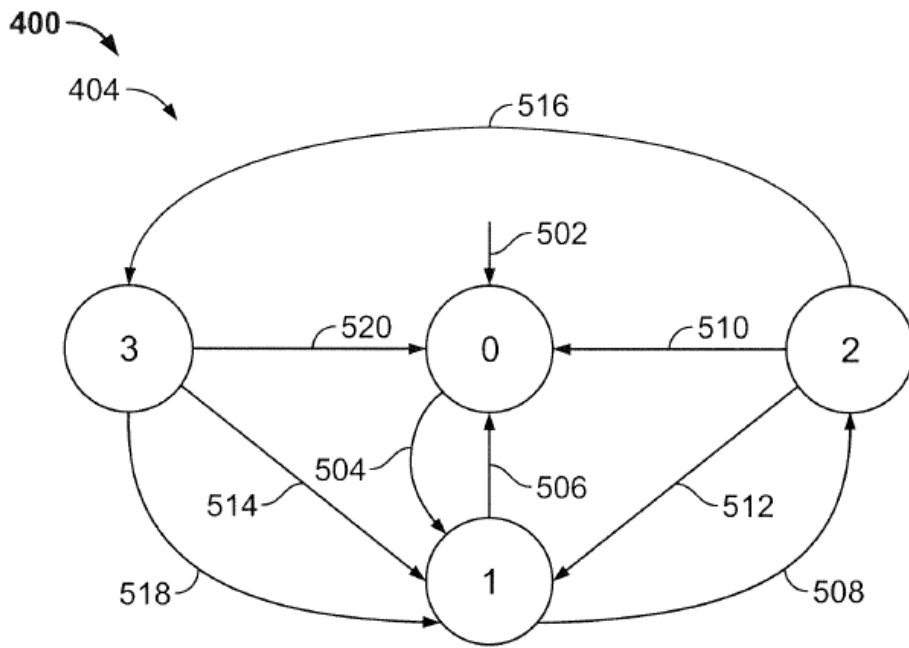


FIG. 5

600

602	604	606	608	610
0	A	C	E	E
1	A	C	F	H
2	B	D	G	I
3	A	C	E	E

FIG. 6